



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
14.08.2013 Patentblatt 2013/33

(51) Int Cl.:
F02B 75/20 (2006.01) F02F 1/42 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12154407.6**

(22) Anmeldetag: **08.02.2012**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• **Bartsch, Guenther**
51645 Gummersbach (DE)
• **Friedfeldt, Rainer**
50354 Hürth (DE)

(71) Anmelder: **Ford Global Technologies, LLC**
Dearborn, MI 48126 (US)

(74) Vertreter: **Drömer, Hans-Carsten**
Henry-Ford Str. 1
50725 Köln (DE)

(54) **Mehrzylinder-Brennkraftmaschine und Verfahren zum Betreiben einer derartigen Mehrzylinder-Brennkraftmaschine**

(57) Es soll eine Brennkraftmaschine bereitgestellt werden, die eine kompakte Bauweise aufweist und mit der sich die Problematik der gegenseitigen Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel beheben läßt. Gelöst wird diese Aufgabe durch eine Brennkraftmaschine der genannten Art, die dadurch gekennzeichnet ist, dass
- die beiden Kurbelwellenkröpfungen (11, 12, 13, 14) der

zwei Zylinder (1, 2, 3, 4) jeder Zylindergruppe in Umfangsrichtung um die Längsachse (15a) der Kurbelwelle (15) herum keinen Versatz aufweisen, so dass die Zylinder (1, 2, 3, 4) einer Zylindergruppe mechanisch gleichlaufende Zylinder (1, 2, 3, 4) sind, und die Kurbelwellenkröpfungen (11, 12, 13, 14) der einen Zylindergruppe gegenüber den Kurbelwellenkröpfungen (11, 12, 13, 14) der anderen Zylindergruppe in Umfangsrichtung um 180° versetzt auf der Kurbelwelle (15) angeordnet sind.

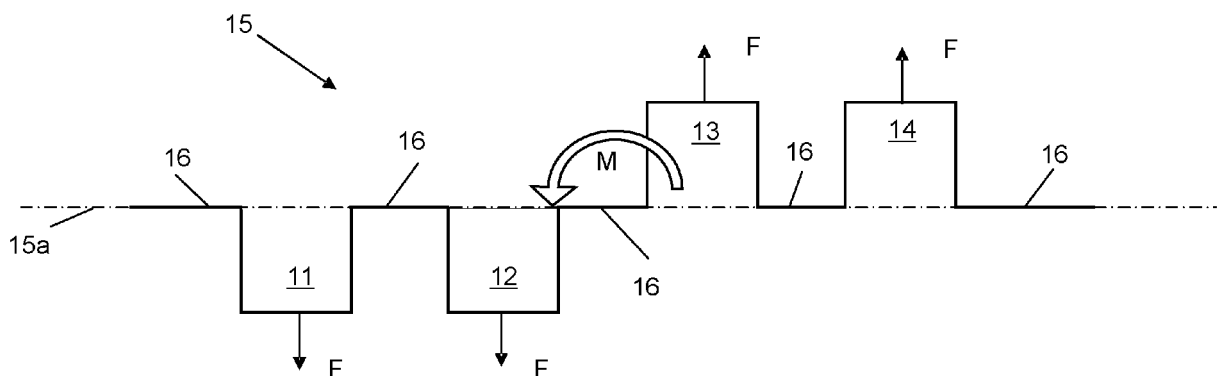


Fig. 3

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine mit

- mindestens einem Zylinderkopf,
- vier entlang der Längsachse des mindestens einen Zylinderkopfes in Reihe angeordneten Zylindern, und
- einer zu einem Kurbeltrieb gehörenden Kurbelwelle, die für jeden Zylinder eine dem Zylinder zugehörige Kurbelwellenkröpfung aufweist, wobei die Kurbelwellenkröpfungen entlang der Längsachse der Kurbelwelle beabstandet zueinander angeordnet sind, bei der
- jeder Zylinder mindestens eine Auslaßöffnung zum Abführen der Abgase aus dem Zylinder via Abgasabfuhrsystem aufweist, wozu sich an jede Auslaßöffnung eine Abgasleitung anschließt,
- die Zylinder in zwei Gruppen konfiguriert sind, wobei jeweils ein außenliegender Zylinder und der benachbarte innenliegende Zylinder eine Gruppe bilden, und
- die Abgasleitungen der Zylinder unter Ausbildung eines Abgaskrümmers stufenweise zu einer Gesamt- abgasleitung zusammenführen, wobei die Abgasleitungen jeder Zylindergruppe jeweils zu einer Teilabgasleitung zusammenführen, bevor die beiden Teilabgasleitungen der zwei Zylindergruppen zu einer Gesamt- abgasleitung zusammenführen.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine der vorstehend genannten Art.

[0003] Eine Brennkraftmaschine der oben genannten Art wird als Antrieb für Kraftfahrzeuge eingesetzt. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfaßt der Begriff Brennkraftmaschine insbesondere Ottomotoren, aber auch Dieselmotoren und Hybrid-Brennkraftmaschinen, d. h. Brennkraftmaschinen, die mit einem Hybrid-Brennverfahren betrieben werden. Brennkraftmaschinen verfügen über einen Zylinderblock und einen Zylinderkopf, die zur Ausbildung der einzelnen Zylinder, d. h. Brenn- räume, miteinander verbindbar bzw. verbunden sind. Auf die einzelnen Bauteile wird im Folgenden kurz eingegan- gen.

[0004] Der Zylinderblock weist zur Aufnahme der Kol- ben bzw. der Zylinderrohre eine entsprechende Anzahl an Zylinderbohrungen auf. Der Kolben jedes Zylinders einer Brennkraftmaschine wird axial beweglich in einem Zylinderrohr geführt und begrenzt zusammen mit dem Zylinderrohr und dem Zylinderkopf den Brennraum eines Zylinders. Der Kolbenboden bildet dabei einen Teil der Brennrauminnenwand und dichtet zusammen mit den Kolbenringen den Brennraum gegen den Zylinderblock bzw. das Kurbelgehäuse ab, so dass keine Verbren- nungsgase bzw. keine Verbrennungsluft in das Kurbel- gehäuse gelangen und kein Öl in den Brennraum ge-

langt.

[0005] Der Kolben dient der Übertragung der durch die Verbrennung generierten Gaskräfte auf die Kurbelwelle. Hierzu ist der Kolben mittels eines Kolbenbolzens mit einer Pleuelstange gelenkig verbunden, die wiederum im Bereich einer Kurbelwellenkröpfung an der Kurbel- welle beweglich gelagert ist.

[0006] Die im Kurbelgehäuse gelagerte Kurbelwelle nimmt die Pleuelstangenkräfte auf, die sich aus den Gas- kräften infolge der Kraftstoffverbrennung im Brennraum und den Massenkräften infolge der ungleichförmigen Be- wegung der Triebwerksteile zusammensetzen. Dabei wird die oszillierende Hubbewegung der Kolben in eine rotierende Drehbewegung der Kurbelwelle transformiert. Die Kurbelwelle überträgt dabei das Drehmoment an den Antriebsstrang.

[0007] Moderne Brennkraftmaschinen werden nahezu ausschließlich nach einem vier Takte umfassenden Ar- beitsverfahren betrieben. Im Rahmen des Ladungs- wechselfolgt das Ausschieben der Verbrennungsga- se über die Auslaßöffnungen der mindestens vier Zyl- nder und das Füllen der Brennräume mit Frischgemisch bzw. Ladeluft über die Einlaßöffnungen. Um den La- dungswechsel zu steuern, benötigt eine Brennkraftma- schine Steuerorgane und Betätigungseinrichtungen zur Betätigung dieser Steuerorgane. Zur Steuerung des La- dungswechsels werden bei Viertaktmotoren nahezu aus- schließlich Hubventile als Steuerorgane verwendet, die während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine os- zillierende Hubbewegung ausführen und auf diese Wei- se die Ein- und Auslaßöffnungen freigeben und ver- schließen. Der für die Bewegung der Ventile erforderliche Ventilbetätigungsmechanismus einschließlich der Ven- tile selbst wird als Ventiltrieb bezeichnet. Der mindestens eine Zylinderkopf dient in der Regel zur Aufnahme dieses Ventiltriebs.

[0008] Es ist die Aufgabe des Ventiltriebes die Einlaß- und Auslaßöffnungen der Zylinder rechtzeitig freizuge- ben bzw. zu schließen, wobei eine schnelle Freigabe möglichst großer Strömungsquerschnitte angestrebt wird, um die Drosselverluste in den ein- bzw. ausströ- menden Gasströmungen gering zu halten und eine mög- lichst gute Füllung der Brennräume mit Frischgemisch bzw. ein effektives, d. h. vollständiges Abführen der Ab- gase zu gewährleisten. Daher werden die Zylinder auch häufig mit mehreren Einlaß- bzw. Auslaßöffnungen ver- sehen.

[0009] Die Einlaßkanäle, die zu den Einlaßöffnungen führen, und die Auslaßkanäle, d. h. die Abgasleitungen, die sich an die Auslaßöffnungen anschließen, sind nach dem Stand der Technik zumindest teilweise im Zylinder- kopf integriert. Die Abgasleitungen der Zylinder werden in der Regel zu einer gemeinsamen Gesamt- abgasleitung zusammengeführt. Die Zusammenführung von Abgas- leitungen zu einer Gesamt- abgasleitung wird im Allge- meinen und im Rahmen der vorliegenden Erfindung als Ab- gaskrümmen bezeichnet, wobei der Abgaskrümmen als zum Abgasabfuhrsystem gehörend angesehen werden

kann.

[0010] Bei der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine werden die Abgasleitungen von vier Zylindern unter Ausbildung eines Abgaskrümmers zu einer einzelnen Gesamtabgasleitung zusammengeführt. Dabei werden die Abgasleitungen der Zylinder stufenweise zusammengeführt und zwar in der Art, dass jeweils die mindestens eine Abgasleitung eines außenliegenden Zylinders und die mindestens eine Abgasleitung des benachbarten innenliegenden Zylinders zu einer Teilabgasleitung zusammenführen und die beiden auf diese Weise gebildeten Teilabgasleitungen der vier Zylinder bzw. zwei Zylindergruppen zu einer Gesamtabgasleitung zusammenführen. Mit dieser Maßnahme läßt sich die Gesamtwegstrecke aller Abgasleitungen und damit das Volumen des Krümmers deutlich reduzieren. Der ausgebildete Abgaskrümmen kann dabei teilweise oder vollständig in dem mindestens einen Zylinderkopf integriert sein.

[0011] Die dynamischen Wellenvorgänge bzw. Druckschwankungen im Abgasabführsystem sind der Grund dafür, dass sich die thermodynamisch versetzt arbeitenden Zylinder einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine beim Ladungswechsel gegenseitig beeinflussen, insbesondere auch behindern können. Eine verschlechterte Drehmomentcharakteristik bzw. ein gemindertes Leistungsangebot können die Folge sein. Werden die Abgasleitungen der einzelnen Zylinder für eine längere Wegstrecke voneinander getrennt geführt, kann der gegenseitigen Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel entgegengewirkt werden.

[0012] Die Evakuierung der Verbrennungsgase aus einem Zylinder der Brennkraftmaschine im Rahmen des Ladungswechsels beruht im Wesentlichen auf zwei unterschiedlichen Mechanismen. Wenn sich zu Beginn des Ladungswechsels das Auslaßventil nahe dem unteren Totpunkt öffnet, strömen die Verbrennungsgase aufgrund des gegen Ende der Verbrennung im Zylinder vorherrschenden hohen Druckniveaus und der damit verbundenen hohen Druckdifferenz zwischen Brennraum und Abgastrakt mit hoher Geschwindigkeit durch die Auslaßöffnung in das Abgasabführsystem. Dieser druckgetriebene Strömungsvorgang wird durch eine hohe Druckspitze begleitet, die auch als Vorauslaßstoß bezeichnet wird und sich entlang der Abgasleitung mit Schallgeschwindigkeit fortpflanzt, wobei sich der Druck mit zunehmender Wegstrecke und in Abhängigkeit von der Leitungsführung infolge Reibung mehr oder weniger stark abbaut, d. h. verringert.

[0013] Im weiteren Verlauf des Ladungswechsels gleichen sich die Drücke im Zylinder und in der Abgasleitung weitgehend an, so dass die Verbrennungsgase maßgeblich infolge der Hubbewegung des Kolbens ausgeschoben werden.

[0014] In Abhängigkeit von der konkreten Ausgestaltung des Abgasabführsystems laufen die Druckwellen, die von einem Zylinder ausgehen, nicht nur durch die mindestens eine Abgasleitung dieses Zylinders, sondern vielmehr auch die Abgasleitungen der anderen Zylinder

entlang und zwar gegebenenfalls bis zu der am Ende der jeweiligen Leitung vorgesehenen und geöffneten Auslaßöffnung.

[0015] Während des Ladungswechsels bereits in eine Abgasleitung ausgeschobenes bzw. abgeführtes Abgas kann somit erneut in den Zylinder gelangen und zwar unter anderem infolge der Druckwelle, die von einem anderen Zylinder ausgeht.

[0016] Kurze Abgasleitungen können beispielsweise bei einem Vier-Zylinder-Reihenmotor, dessen Zylinder mit der Zündfolge 1 - 3 - 4 - 2 betrieben werden, auch dazu führen, dass der vierte Zylinder den in der Zündfolge vorangehenden dritten Zylinder, d. h. den vorher gezündeten Zylinder, während des Ladungswechsels nachteilig beeinflusst und aus dem vierten Zylinder stammendes Abgas in den dritten Zylinder gelangt, bevor dessen Auslaßventile schließen.

[0017] Die vorstehend beschriebene Problematik betreffend die gegenseitige Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel, ist bei der konstruktiven Auslegung von Brennkraftmaschinen von zunehmender Relevanz, da bei der Ausbildung des Abgaskrümmers eine Entwicklung hin zu kurzen Abgasleitungen zu beobachten ist.

[0018] So ist es aus mehreren Gründen vorteilhaft, die Abgasleitungen der Zylinder ausgehend von der jeweiligen Auslaßöffnung bis hin zur Sammelstelle im Abgaskrümmen, an der die Abgasleitungen zu einer gemeinsamen Gesamtabgasleitung zusammenführen und das heiße Abgas der Zylinder gesammelt wird, möglichst kurz auszuführen, beispielsweise den Abgaskrümmen weitestgehend in den mindestens einen Zylinderkopf zu integrieren und die Zusammenführung der Abgasleitungen zu einer Gesamtabgasleitung möglichst umfänglich bereits im Zylinderkopf vorzunehmen.

[0019] Zum einen führt dies zu einer kompakteren Bauweise der Brennkraftmaschine und einem dichteren Packaging der gesamten Antriebseinheit im Motorraum. Zum anderen ergeben sich Kostenvorteile bei der Herstellung und der Montage sowie eine Gewichtsreduzierung, insbesondere bei einer vollständigen Integration des Abgaskrümmers in den Zylinderkopf.

[0020] Des Weiteren können sich kurze Abgasleitungen vorteilhaft auf die Anordnung und den Betrieb eines Abgasnachbehandlungssystems, welches stromabwärts der Zylinder vorgesehen ist, auswirken. Der Weg der heißen Abgase zu den Abgasnachbehandlungssystemen sollte möglichst kurz sein, damit den Abgasen wenig Zeit zur Abkühlung eingeräumt wird und die Abgasnachbehandlungssysteme möglichst schnell ihre Betriebstemperatur bzw. Anspringtemperatur erreichen, insbesondere nach einem Kaltstart der Brennkraftmaschine.

[0021] In diesem Zusammenhang ist man bemüht, die thermische Trägheit des Teilstücks der Abgasleitungen zwischen Auslaßöffnung am Zylinder und Abgasnachbehandlungssystem zu minimieren, was durch Reduzierung der Masse und der Länge dieses Teilstückes er-

reicht werden kann, d. h. durch Verkürzung der entsprechenden Abgasleitungen.

[0022] Bei mittels Abgasturbolader aufgeladenen Brennkraftmaschinen wird angestrebt, die Turbine möglichst nahe am Auslaß, d. h. den Auslaßöffnungen der Zylinder, anzuordnen, um auf diese Weise die Abgasenthalpie der heißen Abgase, die maßgeblich vom Abgasdruck und der Abgastemperatur bestimmt wird, optimal nutzen zu können und ein schnelles Ansprechverhalten des Turboladers zu gewährleisten. Auch dabei sollte die thermische Trägheit und das Volumen des Leitungssystems zwischen den Auslaßöffnungen der Zylinder und der Turbine minimiert werden, weshalb wiederum die Verkürzung der Leitungen dieses Leitungssystems zielführend ist, beispielsweise durch zumindest teilweise Integration des Abgaskrümmers in den Zylinderkopf.

[0023] Zunehmend häufig wird der Abgaskrümm器 in den Zylinderkopf integriert, um von einer im Zylinderkopf vorgesehenen Kühlung zu partizipieren und den Krümm器 nicht aus thermisch hoch belastbaren Werkstoffen fertigen zu müssen, die kostenintensiv sind.

[0024] Die Verkürzung der Abgasleitungen des Abgaskrümmers, beispielsweise durch Integration in den Zylinderkopf, hat - wie vorstehend dargelegt - eine Vielzahl von Vorteilen, führt aber neben der Verkürzung der Gesamtwegstrecke aller Abgasleitungen auch zu einer Verkürzung der einzelnen Abgasleitungen, da diese bereits unmittelbar stromabwärts der Auslaßöffnungen zusammengeführt werden, wodurch sich die Problematik der gegenseitigen Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel verschärft.

[0025] Vor dem Hintergrund des oben Gesagten ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, d. h. der gattungsgemäßen Art, bereitzustellen, die einerseits der Forderung nach einem kompakten Abgaskrümm器 mit kurzen Abgasleitungen Rechnung trägt und mit der sich andererseits die Problematik der gegenseitigen Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel beheben bzw. abmildern läßt.

[0026] Eine weitere Teilaufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine aufzuzeigen.

[0027] Gelöst wird die erste Teilaufgabe durch eine Brennkraftmaschine mit

- mindestens einem Zylinderkopf,
- vier entlang der Längsachse des mindestens einen Zylinderkopfes in Reihe angeordneten Zylindern, und
- einer zu einem Kurbeltrieb gehörenden Kurbelwelle, die für jeden Zylinder eine dem Zylinder zugehörige Kurbelwellenkröpfung aufweist, wobei die Kurbelwellenkröpfungen entlang der Längsachse der Kurbelwelle beabstandet zueinander angeordnet sind, bei der
- jeder Zylinder mindestens eine Auslaßöffnung zum

Abführen der Abgase aus dem Zylinder via Abgasabfuhrsystem aufweist, wozu sich an jede Auslaßöffnung eine Abgasleitung anschließt,

- die Zylinder in zwei Gruppen konfiguriert sind, wobei jeweils ein außenliegender Zylinder und der benachbarte innenliegende Zylinder eine Gruppe bilden, und
- die Abgasleitungen der Zylinder unter Ausbildung eines Abgaskrümmers stufenweise zu einer Gesamtgasleitung zusammenführen, wobei die Abgasleitungen jeder Zylindergruppe jeweils zu einer Teilabgasleitung zusammenführen, bevor die beiden Teilabgasleitungen der zwei Zylindergruppen zu einer Gesamtgasleitung zusammenführen, und die dadurch gekennzeichnet ist, dass
- die beiden Kurbelwellenkröpfungen der zwei Zylinder jeder Zylindergruppe in Umfangsrichtung um die Längsachse der Kurbelwelle herum keinen Versatz aufweisen, so dass die Zylinder einer Zylindergruppe mechanisch gleichlaufende Zylinder sind, und die Kurbelwellenkröpfungen der einen Zylindergruppe gegenüber den Kurbelwellenkröpfungen der anderen Zylindergruppe in Umfangsrichtung um 180° versetzt auf der Kurbelwelle angeordnet sind.

[0028] Die Abgasleitungen der vier Zylinder des mindestens einen Zylinderkopfes der Brennkraftmaschine werden in einer ersten Stufe gruppenweise, d. h. paarweise, zusammengeführt, wobei jeweils ein außenliegender Zylinder und der benachbarte innenliegende Zylinder ein Zylinderpaar bilden, deren Abgasleitungen zu einer Teilabgasleitung zusammenführen. In einer zweiten Stufe werden dann diese Teilabgasleitungen stromabwärts im Abgasabfuhrsystem zu einer Gesamtgasleitung zusammengeführt. Die Gesamtwegstrecke aller Abgasleitungen wird hierdurch verkürzt. Das stufenweise Zusammenführen der Abgasleitungen zu einer Gesamtgasleitung trägt zudem zu einer kompakteren, d. h. weniger voluminösen Bauweise bei.

[0029] Die Abgasströme der beiden Zylindergruppen werden erfindungsgemäß länger voneinander getrennt gehalten als die Abgasströme innerhalb einer Gruppe. Die Ausbildung der Teilabgasleitungen und deren wegstreckenmäßig längere Separierung voneinander haben den Effekt, dass die eine Zylindergruppe die andere Zylindergruppe beim Ladungswechsel nicht bzw. weniger stark beeinflusst.

[0030] Aufgrund der konstruktiven Ausgestaltung des Abgaskrümmers, insbesondere der Ausbildung von Teilabgasleitungen, besteht zwar grundsätzlich die Möglichkeit, dass sich die Zylinder einer Gruppe beim Ladungswechsel gegenseitig behindern.

[0031] Diese Problematik wird aber vorliegend durch die Wahl einer geeigneten Zündfolge entschärft. Die vier Zylinder werden dazu in der Art betrieben, dass die Zylinder einer Zylindergruppe einen möglichst großen Versatz hinsichtlich der Arbeitsprozesse aufweisen, d. h. es wird abwechselnd bei einem Zylinder der einen Zylinder-

gruppe und einem Zylinder der anderen Zylindergruppe die Verbrennung - beispielweise mittels Fremdzündung - initiiert. Vorteilhaft können dabei Verfahrensvarianten sein, bei denen die Zylinder in der Reihenfolge 1 - 3 - 2 - 4 oder in der Reihenfolge 1 - 4 - 2 - 3 gezündet werden. Die Numerierung der Zylinder einer Brennkraftmaschine ist in der DIN 73021 geregelt. Bei Reihenmotoren werden die Zylinder der Reihe nach durchnummeriert.

[0032] Die Zylinder werden im Abstand von jeweils 180°KW gezündet, so dass ausgehend vom ersten Zylinder die Zündzeitpunkte in °KW gemessen die Folgenden sind: 0 - 180 - 360 - 540. Folglich weisen die Zylinder einer Zylindergruppe einen thermodynamischen Versatz von 360°KW auf. Berücksichtigt man weiter, dass die Auslassventile in der Regel eine Öffnungsdauer zwischen 220°KW und 260°KW haben, wird deutlich, dass sich die Zylinder einer Gruppe bei der gewählten Zündfolge nicht beim Ladungswechsel beeinflussen können, und zwar völlig unabhängig davon, wie zügig die Zusammenführung der Abgasleitungen stromabwärts der Auslassöffnungen zu einer Teilabgasleitung erfolgt.

[0033] Eine von der herkömmlichen Zündfolge 1 - 3 - 4 - 2 abweichende Zündfolge erfordert auch eine von der herkömmlichen Kurbelwelle abweichende Kurbelwelle, d. h. eine von der herkömmlichen Kurbelwellenkröpfung abweichende Kurbelwellenkröpfung.

[0034] Erfindungsgemäß wird eine Kurbelwelle eingesetzt, mit der die Zylinder einer Zylindergruppe mechanisch gleichlaufen, d. h. zu demselben Zeitpunkt den oberen und unteren Totpunkt durchlaufen. Die dazugehörigen Kurbelwellenkröpfungen der beiden Zylinder dürfen hierzu in Umfangsrichtung um die Längsachse der Kurbelwelle herum keinen Versatz aufweisen. Der thermodynamische Versatz von 360°KW wird dann durch die Zündfolge realisiert.

[0035] Um im Hinblick auf die Gesamtheit der vier Zylinder einen Zündabstand von jeweils 180°KW zu realisieren, sind die Kurbelwellenkröpfungen der einen Zylindergruppe gegenüber den Kurbelwellenkröpfungen der anderen Zylindergruppe in Umfangsrichtung um 180° verdreht, d. h. versetzt.

[0036] Die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine ist eine Brennkraftmaschine, die einen kompakten Abgaskrümmer mit kurzen Abgasleitungen aufweist und gleichzeitig die Problematik der gegenseitigen Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel eliminiert, weshalb die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine die erste der Erfindung zugrunde liegende Teilaufgabe löst.

[0037] Eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine kann auch zwei Zylinderköpfe aufweisen, wenn beispielweise acht Zylinder auf zwei Zylinderbänke verteilt angeordnet sind. Die erfindungsgemäße Zusammenführung der Abgasleitungen in den dann zwei Zylinderköpfen kann auch dann zur Verbesserung des Ladungswechsels und zur Verbesserung des Drehmomentangebots genutzt werden.

[0038] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Brennkraftmaschine werden im Zusammenhang mit den

Unteransprüchen erörtert.

[0039] Wie bereits beschrieben, ist es vorteilhaft, den Abgaskrümmer weitestgehend in den mindestens einen Zylinderkopf zu integrieren, d. h. die Zusammenführung der Abgasleitungen möglichst umfänglich bereits im Zylinderkopf vorzunehmen, da dies zu einer kompakteren Bauweise führt, ein dichtes Packaging gestattet und sich Kostenvorteile und Gewichtsvorteile ergeben. Zudem können sich Vorteile hinsichtlich des Ansprechverhaltens eines im Abgasabfuhrsystem vorgesehenen Abgasturboladers bzw. eines Abgasnachbehandlungssystems sowie hinsichtlich des für den Krümmer zu verwendenden Werkstoffs ergeben.

[0040] Aus den vorstehend genannten Gründen sind insbesondere Ausführungsformen der Brennkraftmaschine vorteilhaft, bei denen die Abgasleitungen der Zylindergruppen unter Ausbildung von zwei integrierten Abgasteilkrümmern innerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu Teilabgasleitungen zusammenführen.

[0041] D. h. die Zusammenführung der Abgasleitungen jeder der beiden Zylindergruppen zu einer dieser Zylindergruppe zugehörigen Teilabgasleitung erfolgt gemäß der in Rede stehenden Ausführungsform innerhalb des Zylinderkopfes.

[0042] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen die Abgasleitungen der Zylinder unter Ausbildung eines integrierten Abgaskrümmers innerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung zusammenführen.

[0043] Gemäß der vorstehenden Ausführungsform führen die im Zylinderkopf ausgebildeten Teilabgasleitungen bereits innerhalb des Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung zusammen. Insofern verläßt das gesamte, vom Abgasabfuhrsystem geführte Abgas den Zylinderkopf durch eine einzelne Austrittsöffnung an der auslaßseitigen Außenseite des Zylinderkopfes.

[0044] Die vorliegende Ausführungsform ist durch eine sehr kompakte Bauweise gekennzeichnet, die über sämtliche Vorteile verfügt, die ein vollständig in den Zylinderkopf integrierter Abgaskrümmer mit sich bringt.

[0045] Nichtsdestotrotz können auch Ausführungsformen der Brennkraftmaschine vorteilhaft sein, bei denen die Teilabgasleitungen der Zylinder außerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung zusammenführen. Die Abgasleitungen der Zylinder einer Gruppe führen dabei vorzugsweise innerhalb des Zylinderkopfes zu einer Teilabgasleitung zusammen. Der Abgaskrümmer ist dann modular aufgebaut und setzt sich aus einem im Zylinderkopf integrierten Krümmerabschnitt, nämlich zwei Abgasteilkrümmern, und einem externen Krümmer bzw. Krümmerabschnitt zusammen.

[0046] Die Abgasströme der Teilabgasleitungen werden zumindest bis zum Verlassen des Zylinderkopfes voneinander getrennt gehalten, so dass das Abgasabfuhrsystem in Gestalt von zwei Austrittsöffnungen aus dem Zylinderkopf austritt. Die Teilabgasleitungen werden stromabwärts des Zylinderkopfes und damit erst außerhalb des Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgaslei-

tung zusammengeführt. Dies kann stromaufwärts oder stromabwärts einer Abgasnachbehandlung oder einer Abgasturboladaufladung erfolgen.

[0047] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen die Brennkraftmaschine ein Saugmotor ist.

[0048] Vorteilhaft sind aber insbesondere Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen eine Aufladevorrichtung vorgesehen ist. Die Abgase in den Zylindern einer aufgeladenen Brennkraftmaschine weisen während des Betriebs der Brennkraftmaschinen deutlich höhere Drücke auf, weshalb die dynamischen Wellenvorgänge im Abgasabfuhrsystem während der Ladungswechsel deutlich ausgeprägter sind, insbesondere der Vorauslaßstoß.

[0049] Dementsprechend hat die Problematik der gegenseitigen Einflußnahme der Zylinder beim Ladungswechsel bei aufgeladenen Brennkraftmaschinen eine noch höhere Relevanz.

[0050] Vorteilhaft sind insbesondere Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen mindestens ein Abgasturbolader vorgesehen ist, der eine im Abgasabfuhrsystem angeordnete Turbine umfaßt.

[0051] Die Vorteile eines Abgasturboladers beispielsweise im Vergleich zu einem mechanischen Lader bestehen darin, dass keine mechanische Verbindung zur Leistungsübertragung zwischen Lader und Brennkraftmaschine besteht bzw. erforderlich ist. Während ein mechanischer Lader die für seinen Antrieb benötigte Energie vollständig von der Brennkraftmaschine bezieht, nutzt der Abgasturbolader die Abgasenergie der heißen Abgase. Die vom Abgasstrom an die Turbine abgegebene Energie wird für den Antrieb eines Verdichters genutzt, der die ihm zugeführte Ladeluft fördert und komprimiert, wodurch eine Aufladung der Zylinder erreicht wird. Gegebenenfalls ist eine Ladeluftkühlung vorgesehen, mit der die komprimierte Verbrennungsluft vor Eintritt in die Zylinder gekühlt wird.

[0052] Die Aufladung dient in erster Linie der Leistungssteigerung der Brennkraftmaschine. Die Aufladung ist aber auch ein geeignetes Mittel, bei gleichen Fahrzeugrandbedingungen das Lastkollektiv zu höheren Lasten hin zu verschieben, wodurch der spezifische Kraftstoffverbrauch gesenkt werden kann.

[0053] Vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen die Turbine des mindestens einen Abgasturboladers in der Gesamtabgasleitung angeordnet ist.

[0054] Bei Brennkraftmaschinen, bei denen die Teilabgasleitungen der Zylinder außerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung zusammenführen, können auch Ausführungsformen der Brennkraftmaschine vorteilhaft sein, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die Turbine des mindestens einen Abgasturboladers eine zweiflutige Turbine ist, die einen Eintrittsbereich mit zwei Eintrittskanälen aufweist, wobei jeweils eine der beiden Teilabgasleitungen in einen der beiden Eintrittskanäle mündet.

[0055] Vorteilhaft ist diese Ausführungsform auch, weil die Trennwand zwischen den Eintrittskanälen der zweiflutigen Turbine vertikal verläuft und die beiden Teilabgasleitungen senkrecht dazu - entlang der Längsachse des Zylinderkopfes versetzt zueinander - aus dem Kopf austreten. Insofern korrespondiert die Anordnung der Trennwand bzw. der Eintrittskanäle mit der Austrittsstruktur der beiden Teilabgasleitungen.

[0056] Nichtsdestotrotz kann die Turbine auch dann als zweiflutige Turbine ausgeführt werden, wenn sie in der Gesamtabgasleitung angeordnet wird.

[0057] Vorteilhaft sind insbesondere Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen zwei Abgasturbolader vorgesehen sind, die zwei im Abgasabfuhrsystem angeordnete Turbinen umfassen.

[0058] Ist nur ein Abgasturbolader vorgesehen, wird häufig bei Unterschreiten einer bestimmten Motordrehzahl ein Drehmomentabfall beobachtet. Verständlich wird dieser Drehmomentabfall, wenn berücksichtigt wird, dass das Ladedruckverhältnis vom Turbinendruckverhältnis abhängt. Wird beispielsweise die Drehzahl verringert, führt dies zu einem kleineren Abgasmassenstrom und damit zu einem kleineren Turbinendruckverhältnis. Dies hat zur Folge, dass zu niedrigeren Drehzahlen hin das Ladedruckverhältnis ebenfalls abnimmt, was gleichbedeutend ist mit einem Drehmomentabfall.

[0059] Grundsätzlich kann dabei dem Abfall des Ladedruckes durch eine Verkleinerung des Turbinenquerschnittes und der damit einhergehenden Steigerung des Turbinendruckverhältnisses entgegengewirkt werden, was aber zu Nachteilen bei hohen Drehzahlen führt.

[0060] Die Drehmomentcharakteristik einer aufgeladenen Brennkraftmaschine wird daher häufig durch Einsatz von mehr als einem Abgasturbolader zu verbessern versucht, d. h. durch mehrere parallel oder in Reihe angeordnete Turbolader, d. h. durch mehrere parallel oder in Reihe angeordnete Turbinen.

[0061] Werden zwei Abgasturbolader vorgesehen, sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine vorteilhaft, bei denen die zwei Turbinen in der Gesamtabgasleitung in Reihe angeordnet sind.

[0062] Durch das in Reihe Schalten von zwei Abgasturboladern, von denen ein Abgasturbolader als Hochdruckstufe und ein Abgasturbolader als Niederdruckstufe dient, kann das Verdichterkennfeld in vorteilhafter Weise aufgeweitet werden und zwar sowohl hin zu kleineren Verdichterströmen als auch hin zu größeren Verdichterströmen.

[0063] Insbesondere ist bei dem als Hochdruckstufe dienenden Abgasturbolader ein Verschieben der Pumpgrenze hin zu kleineren Verdichterströmen möglich, wodurch auch bei kleinen Verdichterströmen hohe Ladedruckverhältnisse erzielt werden können, was im unteren Teillastbereich die Drehmomentcharakteristik deutlich verbessert. Erreicht wird dies durch eine Auslegung der Hochdruckturbine auf kleine Abgasmassenströme und Vorsehen einer Bypaßleitung, mit der bei zunehmendem Abgasmassenstrom zunehmend Abgas an der Hoch-

druckturbine vorbeigeführt wird. Die Bypaßleitung zweigt hierzu stromaufwärts der Hochdruckturbine vom Abgassystem ab und mündet stromabwärts der Turbine wieder in das Abgassystem ein, wobei in der Bypaßleitung ein Absperrelement angeordnet ist, um den an der Hochdruckturbine vorbeigeführten Abgasstrom zu steuern.

[0064] Das Ansprechverhalten einer derartig aufgeladenen Brennkraftmaschine - insbesondere im Teillastbereich - ist deutlich verbessert gegenüber einer vergleichbaren Brennkraftmaschine mit einstufiger Aufladung. Der Grund hierfür ist auch darin zu sehen, dass die kleinere Hochdruckstufe weniger träge ist als ein im Rahmen einer einstufigen Aufladung verwendeter größerer Abgasturbolader, weil sich das Laufzeug eines kleiner dimensionierten Abgasturboladers schneller beschleunigen und verzögern läßt.

[0065] Bei Brennkraftmaschinen, bei denen die Teilabgasleitungen der Zylinder außerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung zusammenführen, können auch Ausführungsformen vorteilhaft sein, die dadurch gekennzeichnet sind, dass in jeder der beiden Teilabgasleitungen eine Turbine angeordnet ist.

[0066] Auch durch zwei parallel angeordnete Turbinen läßt sich die Drehmomentcharakteristik einer aufgeladenen Brennkraftmaschine spürbar verbessern. Vorliegend besteht die Möglichkeit, beide kleinen Turbinen montiert, d. h. unmittelbar benachbart zum Zylinderkopf, anzuordnen.

[0067] Die Turbine des mindestens einen Abgasturboladers kann mit einer variablen Turbinengeometrie ausgestattet werden, die eine weitergehende Anpassung an den jeweiligen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine durch Verstellen der Turbinengeometrie bzw. des wirkamen Turbinenquerschnittes ermöglicht. Dabei sind im Eintrittsbereich der Turbine verstellbare Leitschaufeln zur Beeinflussung der Strömungsrichtung angeordnet. Im Gegensatz zu den Laufschaufeln des umlaufenden Laufrades rotieren die Leitschaufeln nicht mit der Welle der Turbine.

[0068] Verfügt die Turbine über eine feste unveränderliche Geometrie, sind die Leitschaufeln nicht nur stationär, sondern zudem völlig unbeweglich im Eintrittsbereich angeordnet, d. h. starr fixiert. Bei einer variablen Geometrie hingegen sind die Leitschaufeln zwar stationär angeordnet, aber nicht völlig unbeweglich, sondern um ihre Achse drehbar, so dass auf die Anströmung der Laufschaufeln Einfluß genommen werden kann.

[0069] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen der mindestens eine Zylinderkopf mit einem integrierten Kühlmittelmantel ausgestattet ist. Insbesondere aufgeladene Brennkraftmaschinen sind thermisch hoch belastet, weshalb hohe Anforderungen an die Kühlung zu stellen sind.

[0070] Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Kühlung in Gestalt einer Luftkühlung oder einer Flüssigkeitskühlung auszuführen. Mit einer Flüssigkeitskühlung können aber wesentlich größere Wärmemengen abgeführt

werden als dies mit einer Luftkühlung möglich ist.

[0071] Die Flüssigkeitskühlung erfordert die Ausstattung der Brennkraftmaschine, d. h. des Zylinderkopfes bzw. des Zylinderblocks, mit einem integrierten Kühlmittelmantel, d. h. die Anordnung von das Kühlmittel durch den Zylinderkopf bzw. Zylinderblock führenden Kühlmittelkanälen. Die Wärme wird bereits im Inneren des Bauteils an das Kühlmittel abgegeben. Das Kühlmittel wird mittels einer im Kühlkreislauf angeordneten Pumpe gefördert, so dass es im Kühlmittelmantel zirkuliert. Die an das Kühlmittel abgegebene Wärme wird auf diese Weise aus dem Inneren des Kopfes bzw. Blocks abgeführt und dem Kühlmittel in einem Wärmetauscher wieder entzogen.

[0072] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen jeder Zylinder mindestens zwei Auslaßöffnungen zum Abführen der Abgase aus dem Zylinder aufweist.

[0073] Wie bereits ausgeführt wurde, wird während des Ladungswechsels eine schnelle Freigabe möglichst großer Strömungsquerschnitte angestrebt, um die Drosselverluste in den ausströmenden Abgasströmungen gering zu halten und ein effektives Abführen der Abgase zu gewährleisten. Deshalb ist es vorteilhaft, die Zylinder mit zwei oder mehr Auslaßöffnungen auszustatten.

[0074] Brennkraftmaschinen werden zur Reduzierung der Schadstoffemissionen mit verschiedenen Abgasnachbehandlungssystemen ausgestattet. Zur Oxidation der unverbrannten Kohlenwasserstoffe und von Kohlenmonoxid kann ein Oxidationskatalysator im Abgassystem vorgesehen werden. Bei Ottomotoren kommen katalytische Reaktoren zum Einsatz, insbesondere Dreiwegekatalysatoren, mit denen Stickoxide mittels der nicht oxidierten Abgaskomponenten, nämlich den Kohlenmonoxiden und den unverbrannten Kohlenwasserstoffen, reduziert werden, wobei gleichzeitig diese Abgaskomponenten oxidiert werden. Bei Brennkraftmaschinen, die mit einem Luftüberschuß betrieben werden, also beispielsweise im Magerbetrieb arbeitende Ottomotoren, insbesondere aber direkteinspritzende Dieselmotoren aber auch direkteinspritzende Ottomotoren, können die im Abgas befindlichen Stickoxide prinzipbedingt aufgrund der fehlenden Reduktionsmittel nicht reduziert werden. Zur Reduzierung der Stickoxide werden selektive Katalysatoren - sogenannte SCR-Katalysatoren - eingesetzt, bei denen gezielt Reduktionsmittel in das Abgas eingebracht werden, um die Stickoxide selektiv zu vermindern. Grundsätzlich können die Stickoxidemissionen auch mit sogenannten Stickoxidspeicherkatalysatoren, auch LNT genannt, reduziert werden. Dabei werden die Stickoxide zunächst während eines mageren Betriebs der Brennkraftmaschine im Katalysator absorbiert, d. h. gesammelt und gespeichert, um dann während einer Regenerationsphase beispielsweise mittels eines unterstöchiometrischen Betriebs ($\lambda < 1$) der Brennkraftmaschine bei Sauerstoffmangel reduziert zu werden. Zur Minimierung der Emission von Rußpartikeln werden sogenannte regenerative Partikelfilter eingesetzt, die die

Rußpartikel aus dem Abgas herausfiltern und speichern. Die Partikel werden im Rahmen der Regeneration des Filters intermittierend verbrannt.

[0075] Auch bei der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine sind Ausführungsformen vorteilhaft, bei denen mindestens ein Abgasnachbehandlungssystem im Abgasabfuhrsystem vorgesehen ist.

[0076] Entsprechend den unterschiedlichen Ausgestaltungen des Abgaskrümmers bzw. des Abgasabfuhrsystems ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der Abgasnachbehandlung.

[0077] Vorteilhaft können Ausführungsformen der Brennkraftmaschine sein, bei denen das mindestens eine Abgasnachbehandlungssystem in der Gesamtabgasleitung angeordnet ist. Das gesamte Abgas teilt sich ein gemeinsames Nachbehandlungssystem.

[0078] Bei Brennkraftmaschinen, bei denen die Teilabgasleitungen der Zylinder außerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung zusammenführen, können auch Ausführungsformen der Brennkraftmaschine vorteilhaft sein, die dadurch gekennzeichnet sind, dass in jeder der beiden Teilabgasleitungen ein Abgasnachbehandlungssystem angeordnet ist. In der Gesamtabgasleitung, zu der die beiden Teilabgasleitungen stromabwärts zusammen führen, kann auch ein weiteres Abgasnachbehandlungssystem vorgesehen werden, gegebenenfalls auch eine andere Art von Abgasnachbehandlungssystem.

[0079] Die zweite der Erfindung zugrunde liegende Teilaufgabe, nämlich ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine gemäß einer zuvor beschriebenen Art aufzuzeigen, wird gelöst durch ein Verfahren, gemäß dem die Verbrennung bei den Zylindern im Abstand von 180°KW initiiert wird.

[0080] Die Initiierung, d. h. Einleitung der Verbrennung kann sowohl durch eine Fremdzündung, beispielsweise mittels Zündkerze, als auch durch Selbstzündung bzw. Kompressionszündung erfolgen. Insofern läßt sich das Verfahren bei Ottomotoren, aber auch bei Dieselmotoren und Hybrid-Brennkraftmaschinen anwenden.

[0081] Das im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine Gesagte gilt ebenfalls für das erfindungsgemäße Verfahren.

[0082] Bei Brennkraftmaschinen, deren Zylinder zur Einleitung einer Fremdzündung mit Zündvorrichtungen ausgestattet sind, können Verfahrensvarianten vorteilhaft sein, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die Zylinder mittels Zündvorrichtungen in der Reihenfolge 1 - 3 - 2 - 4 und im Abstand von 180°KW gezündet werden. Die Zylinder werden dabei beginnend mit einem außenliegenden Zylinder der Reihe nach entlang der Längsachse des mindestens einen Zylinderkopfes durchnummeriert und nummeriert.

[0083] Vorteilhaft können aber auch Verfahrensvarianten sein, bei denen die Zylinder mittels Zündvorrichtungen in der Reihenfolge 1 - 4 - 2 - 3 und im Abstand von 180°KW gezündet werden. Die Zylinder werden dabei beginnend mit einem außenliegenden Zylinder der

Reihe nach entlang der Längsachse des mindestens einen Zylinderkopfes durchnummeriert und nummeriert.

[0084] Gemäß den beiden vorstehenden Verfahrensvarianten, weisen die beiden Zylinder einer Zylindergruppe den größtmöglichen Versatz hinsichtlich ihrer Arbeitsprozesse auf, nämlich einen thermodynamischen Versatz von 360°KW . Es wird abwechselnd bei einem Zylinder der einen Zylindergruppe und einem Zylinder der anderen Zylindergruppe die Verbrennung mittels Fremdzündung initiiert.

[0085] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von zwei Ausführungsbeispielen gemäß den Figuren 1 bis 3 näher beschrieben. Hierbei zeigt:

15 Fig. 1 schematisch den im Zylinderkopf integrierten Abschnitt des Abgaskrümmers einer ersten Ausführungsform der Brennkraftmaschine in der Draufsicht,

20 Fig. 2 schematisch den im Zylinderkopf integrierten Abschnitt des Abgaskrümmers einer zweiten Ausführungsform der Brennkraftmaschine in der Draufsicht, und

25 Fig. 3 eine Ausführungsform der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine als Prinzipskizze.

[0086] Figur 1 zeigt schematisch den im Zylinderkopf integrierten Abschnitt des Abgaskrümmers 7 einer ersten Ausführungsform der Brennkraftmaschine in der Draufsicht.

[0087] Der dazugehörige Zylinderkopf (nicht dargestellt) verfügt über vier Zylinder 1, 2, 3, 4, die entlang der Längsachse des Zylinderkopfes in Reihe angeordnet sind. Der Zylinderkopf verfügt somit über zwei außenliegende Zylinder 1, 4 und zwei innenliegende Zylinder 2, 3.

[0088] Jeder Zylinder 1, 2, 3, 4 weist zwei Auslaßöffnungen 5 auf, an die sich Abgasleitungen 8 des Abgasabfuhrsystems 6 zum Abführen der Abgase anschließen. Die Abgasleitungen 8 der Zylinder 1, 2, 3, 4 führen stufenweise zu einer Gesamtabgasleitung 10 zusammen, wobei jeweils die zwei Abgasleitungen 8 eines außenliegenden Zylinders 1, 4 und die zwei Abgasleitungen 8 des benachbarten innenliegenden Zylinders 2, 3 zu einer dieser Zylindergruppe zugehörigen Teilabgasleitung 9 zusammenführen, bevor die beiden Teilabgasleitungen 9 der vier Zylinder 1, 2, 3, 4 zu einer Gesamtabgasleitung 10 zusammenführen.

[0089] Bei dem in Figur 1 dargestellten Abgaskrümmers 7 handelt es sich um einen vollständig im Zylinderkopf integrierten Abgaskrümmers 7, d. h. die Abgasleitungen 8 der Zylinder 1, 2, 3, 4 führen innerhalb des Zylinderkopfes unter Ausbildung des Abgaskrümmers 7 zu einer Gesamtabgasleitung 10 zusammen.

[0090] Figur 2 zeigt schematisch den im Zylinderkopf integrierten Abschnitt des Abgaskrümmers 7 einer zweiten Ausführungsform der Brennkraftmaschine in der Draufsicht. Es sollen nur die Unterschiede zu der in Figur

1 dargestellten Ausführungsform erörtert werden, weshalb im Übrigen Bezug genommen wird auf Figur 1. Für dieselben Bauteile wurden dieselben Bezugszeichen verwendet.

[0091] Die Abgasleitungen 8 der beiden Zylindergruppen führen unter Ausbildung von zwei integrierten Abgasteilkrümmern 7a, 7b innerhalb des Zylinderkopfes zu Teilabgasleitungen 9 zusammen. Im Unterschied zu der Ausführungsform gemäß Figur 1 führen diese Teilabgasleitungen 9 aber erst außerhalb des Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung zusammen (nicht dargestellt), so dass die Teilabgasleitungen 9 über eine längere Wegstrecke voneinander separiert sind.

[0092] Figur 3 zeigt eine Ausführungsform der Kurbelwelle 15 der Brennkraftmaschine als Prinzipskizze.

[0093] Die dargestellte Kurbelwelle 15 verfügt über fünf Lager 16 und weist für jeden Zylinder eine dem Zylinder zugehörige Kurbelwellenkröpfung 11, 12, 13, 14 auf. Die Kurbelwellenkröpfungen 11, 12, 13, 14 sind entlang der Längsachse 15a der Kurbelwelle 15 beabstandet zueinander angeordnet, wobei die beiden Kurbelwellenkröpfungen 11, 12, 13, 14 der zwei Zylinder jeder Zylindergruppe in Umfangsrichtung um die Längsachse 15a der Kurbelwelle 15 herum keinen Versatz aufweisen, so dass die Zylinder jeder Zylindergruppe mechanisch gleichlaufende Zylinder sind. Die Kurbelwellenkröpfungen 11, 12 der ersten beiden Zylinder, d. h. der ersten Zylindergruppe, sind gegenüber den Kurbelwellenkröpfungen 13, 14 des dritten und vierten Zylinders, d. h. der zweiten Zylindergruppe, in Umfangsrichtung um 180° versetzt auf der Kurbelwelle 15 angeordnet.

[0094] Die an den Kurbelwellenkröpfungen 11, 12, 13, 14 angreifenden Massenkraften F sind kenntlich gemacht. Das aus den Massenkraften resultierende Massenmoment M ist vorzugsweise mittels Massenausgleich auszugleichen.

Bezugszeichen

[0095]

- | | | |
|----|--|--|
| 1 | erster Zylinder, außenliegender Zylinder | |
| 2 | zweiter Zylinder, innenliegender Zylinder | |
| 3 | dritter Zylinder, innenliegender Zylinder | |
| 4 | vierter Zylinder, außenliegender Zylinder | |
| 5 | Auslaßöffnung | |
| 6 | Abgasabführsystem | |
| 7 | Abgaskrümmern | |
| 7a | Abgasteilkrümmern | |
| 7b | Abgasteilkrümmern | |
| 8 | Abgasleitung | |
| 9 | Teilabgasleitung | |
| 10 | Gesamtabgasleitung | |
| 11 | Kurbelwellenkröpfung des ersten Zylinders | |
| 12 | Kurbelwellenkröpfung des zweiten Zylinders | |
| 13 | Kurbelwellenkröpfung des dritten Zylinders | |
| 14 | Kurbelwellenkröpfung des vierten Zylinders | |
| 15 | Kurbelwelle | |

15a Längsachse der Kurbelwelle

16 Kurbelwellenlager, Lager

F Massenkraft

5 °KW Grad Kurbelwinkel

M Massenmoment

Patentansprüche

10

1. Brennkraftmaschine mit

- mindestens einem Zylinderkopf,
- vier entlang der Längsachse des mindestens einen Zylinderkopfes in Reihe angeordneten Zylindern (1, 2, 3, 4), und
- einer zu einem Kurbeltrieb gehörenden Kurbelwelle (15), die für jeden Zylinder (1, 2, 3, 4) eine dem Zylinder (1, 2, 3, 4) zugehörige Kurbelwellenkröpfung (11, 12, 13, 14) aufweist, wobei die Kurbelwellenkröpfungen (11, 12, 13, 14) entlang der Längsachse (15a) der Kurbelwelle (15) beabstandet zueinander angeordnet sind, bei der

25

- jeder Zylinder (1, 2, 3, 4) mindestens eine Auslaßöffnung (5) zum Abführen der Abgase aus dem Zylinder (1, 2, 3, 4) via Abgasabführsystem (6) aufweist, wozu sich an jede Auslaßöffnung (5) eine Abgasleitung (8) anschließt,

30

- die Zylinder (1, 2, 3, 4) in zwei Gruppen konfiguriert sind, wobei jeweils ein außenliegender Zylinder (1, 4) und der benachbarte innenliegende Zylinder (2, 3) eine Gruppe bilden, und

35

- die Abgasleitungen (8) der Zylinder (1, 2, 3, 4) unter Ausbildung eines Abgaskrümmers (7) stufenweise zu einer Gesamtabgasleitung (10) zusammenführen, wobei die Abgasleitungen (8) jeder Zylindergruppe jeweils zu einer Teilabgasleitung (9) zusammenführen, bevor die beiden Teilabgasleitungen (9) der zwei Zylindergruppen zu einer Gesamtabgasleitung (10) zusammenführen,

40

dadurch gekennzeichnet, dass

- die beiden Kurbelwellenkröpfungen (11, 12, 13, 14) der zwei Zylinder (1, 2, 3, 4) jeder Zylindergruppe in Umfangsrichtung um die Längsachse (15a) der Kurbelwelle (15) herum keinen Versatz aufweisen, so dass die Zylinder (1, 2, 3, 4) einer Zylindergruppe mechanisch gleichlaufende Zylinder (1, 2, 3, 4) sind, und die Kurbelwellenkröpfungen (11, 12, 13, 14) der einen Zylindergruppe gegenüber den Kurbelwellenkröpfungen (11, 12, 13, 14) der anderen Zylindergruppe in Umfangsrichtung um 180° versetzt auf der Kurbelwelle (15) angeordnet sind.

50

55

2. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abgasleitungen (8) der Zy-

lindergruppen unter Ausbildung von zwei integrierten Abgasteilkrümmern (7a, 7b) innerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu Teilabgasleitungen (9) zusammenführen.

3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abgasleitungen (8) der Zylinder (1, 2, 3, 4) unter Ausbildung eines integrierten Abgaskrümmers (7) innerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung (10) zusammenführen. 5
4. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Teilabgasleitungen (9) der Zylinder (1, 2, 3, 4) außerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung (10) zusammenführen. 10
5. Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkraftmaschine ein Saugmotor ist. 20
6. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Abgasturbolader vorgesehen ist, der eine im Abgasabführsystem (6) angeordnete Turbine umfaßt. 25
7. Brennkraftmaschine nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbine des mindestens einen Abgasturboladers in der Gesamtabgasleitung (10) angeordnet ist. 30
8. Brennkraftmaschine nach Anspruch 6, bei der die Teilabgasleitungen (9) der Zylinder (1, 2, 3, 4) außerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung (10) zusammenführen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbine des mindestens einen Abgasturboladers eine zweiflutige Turbine ist, die einen Eintrittsbereich mit zwei Eintrittskanälen aufweist, wobei jeweils eine der beiden Teilabgasleitungen (9) in einen der beiden Eintrittskanäle mündet. 35
9. Brennkraftmaschine nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei Abgasturbolader vorgesehen sind, die zwei im Abgasabführsystem (6) angeordnete Turbinen umfassen. 40
10. Brennkraftmaschine nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zwei Turbinen in der Gesamtabgasleitung (10) in Reihe angeordnet sind. 45
11. Brennkraftmaschine nach Anspruch 9, bei der die Teilabgasleitungen (9) der Zylinder (1, 2, 3, 4) außerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung (10) zusammenführen, **dadurch gekennzeichnet, dass** in jeder der beiden Teilabgasleitungen (9) eine Turbine angeordnet ist. 50

12. Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Abgasnachbehandlungssystem im Abgasabführsystem (6) vorgesehen ist.

13. Brennkraftmaschine nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Abgasnachbehandlungssystem in der Gesamtabgasleitung (10) angeordnet ist.
14. Brennkraftmaschine nach Anspruch 12, bei der die Teilabgasleitungen (9) der Zylinder (1, 2, 3, 4) außerhalb des mindestens einen Zylinderkopfes zu einer Gesamtabgasleitung (10) zusammenführen, **dadurch gekennzeichnet, dass** in jeder der beiden Teilabgasleitungen (9) ein Abgasnachbehandlungssystem angeordnet ist.
15. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei den Zylindern (1, 2, 3, 4) die Verbrennung im Abstand von 180°KW initiiert wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15 zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, deren Zylinder (1, 2, 3, 4) zur Einleitung einer Fremdzündung mit Zündvorrichtungen ausgestattet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zylinder (1, 2, 3, 4) mittels Zündvorrichtungen in der Reihenfolge 1 - 3 - 2 - 4 und im Abstand von 180°KW gezündet werden, wobei die Zylinder (1, 2, 3, 4) beginnend mit einem außenliegenden Zylinder (1, 4) der Reihe nach entlang der Längsachse des mindestens einen Zylinderkopfes durchgezählt und numeriert werden.
17. Verfahren nach Anspruch 15 zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, deren Zylinder (1, 2, 3, 4) zur Einleitung einer Fremdzündung mit Zündvorrichtungen ausgestattet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zylinder (1, 2, 3, 4) mittels Zündvorrichtungen in der Reihenfolge 1 - 4 - 2 - 3 und im Abstand von 180°KW gezündet werden, wobei die Zylinder (1, 2, 3, 4) beginnend mit einem außenliegenden Zylinder (1, 4) der Reihe nach entlang der Längsachse des mindestens einen Zylinderkopfes durchgezählt und numeriert werden.

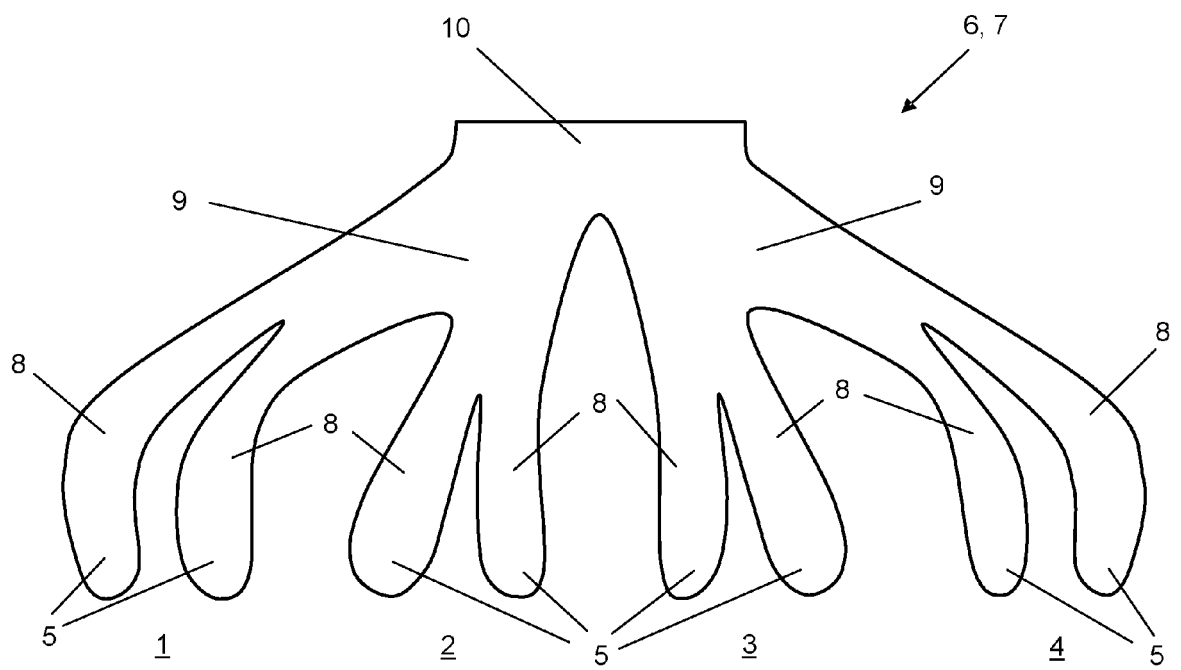


Fig. 1

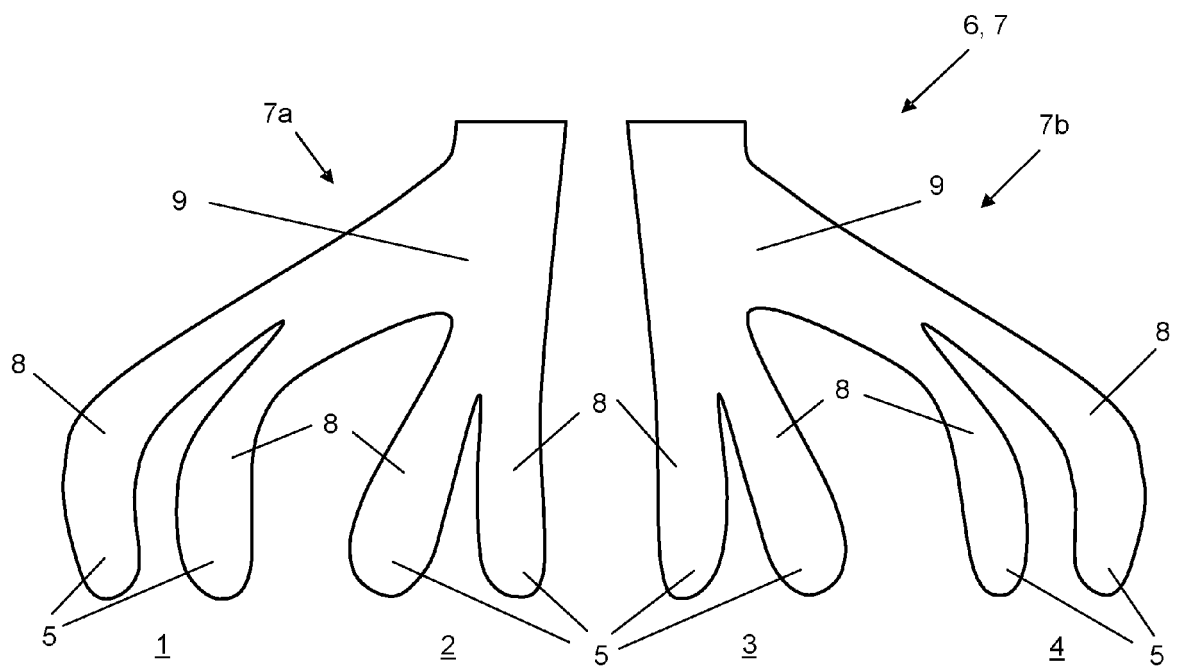


Fig. 2

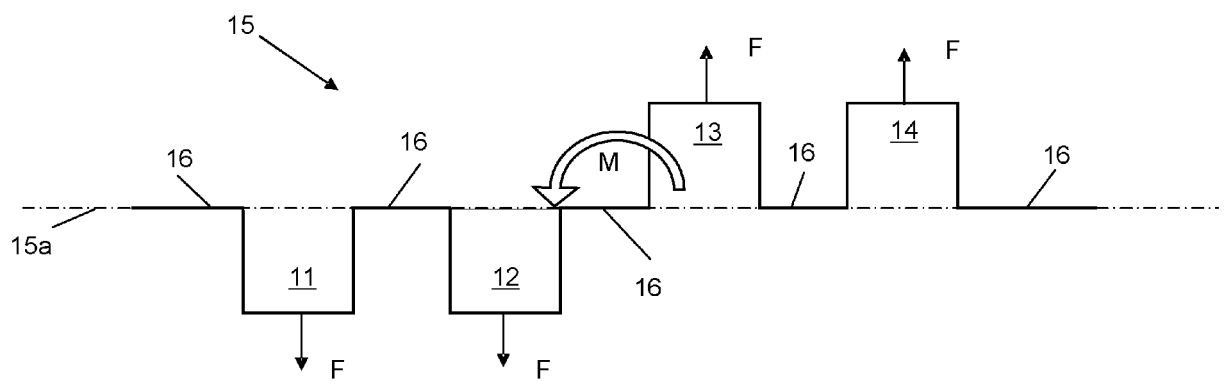


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 12 15 4407

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	JP 2001 329873 A (NISSAN MOTOR) 30. November 2001 (2001-11-30) * See the abstract and the english translation, e.g. paragraphs [0003], [0016]-[0018], [0022],; Abbildungen *	1-17	INV. F02B75/20 F02F1/42
Y	DE 10 2008 035957 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]) 18. Februar 2010 (2010-02-18)	1-3,6-8, 12,13, 15-17	
A	* das ganze Dokument *	9-11,14	
Y	DE 20 24 041 A1 (DAIMLER-BENZ AG) 2. Dezember 1971 (1971-12-02) * das ganze Dokument *	4	
Y	WO 2010/015654 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]; KUHNBACH KAI [DE]) 11. Februar 2010 (2010-02-11)	5	
A	* Seite 1, Zeile 18 - Zeile 22 * * Seite 7, Zeile 20 - Seiten -, Zeile 20; Abbildungen *	1-3,6,7, 12,13	
Y	DE 10 2008 020745 A1 (DAIMLER AG [DE]) 29. Oktober 2009 (2009-10-29)	9-11	
A	* das ganze Dokument *	1,4	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F02B F02F F01B F16C F01N
Y	DE 10 2007 057755 A1 (HYUNDAI MOTOR CO LTD [KR]) 19. Juni 2008 (2008-06-19)	14	
A	* Absatz [0034] - Absatz [0074]; Anspruch 21; Abbildungen *	1,2,4, 12,13	
A	GB 215 999 A (JOSEPH BETHENOD; WALTER BAUR) 22. Mai 1924 (1924-05-22) * das ganze Dokument *	1-5	
-/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		31. Juli 2012	
		Prüfer	
		von Arx, Hans	
KATEGORIE DER GENANNTE DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 2
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 12 15 4407

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 10 2009 008742 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 19. August 2010 (2010-08-19) * Absätze [0008], [0013]; Anspruch 3 * -----	1,8	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 31. Juli 2012	Prüfer von Arx, Hans
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 2
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 15 4407

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

31-07-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2001329873 A	30-11-2001	KEINE	
DE 102008035957 A1	18-02-2010	CN 201486674 U DE 102008035957 A1	26-05-2010 18-02-2010
DE 2024041 A1	02-12-1971	KEINE	
WO 2010015654 A1	11-02-2010	CN 102099558 A EP 2324226 A1 JP 2011530666 A US 2011132296 A1 WO 2010015654 A1	15-06-2011 25-05-2011 22-12-2011 09-06-2011 11-02-2010
DE 102008020745 A1	29-10-2009	DE 102008020745 A1 WO 2009129894 A1	29-10-2009 29-10-2009
DE 102007057755 A1	19-06-2008	DE 102007057755 A1 US 2008141971 A1	19-06-2008 19-06-2008
GB 215999 A	22-05-1924	KEINE	
DE 102009008742 A1	19-08-2010	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82